

Wstępna ocena stanu równowagi hydrogeochemicznej szczaw Ziemi Kłodzkiej przy zastosowaniu modelowania geochemicznego

Beata Wiktorowicz*

The preliminary results of assessing hydrogeochemical equilibrium in acidulous waters in the Kłodzko area using geochemical modelling. *Prz. Geol.*, 52: 1071–1075.

Summary. This paper contains the preliminary results of research on hydrogeochemical equilibrium in acidulous waters in Ziemia Kłodzka. The problem of rock-water interaction in acidulous waters in the Sudety Mountains (SW Poland) is discussed for the first time in Polish literature. The chemical composition of acidulous waters is mainly controlled by the process of decomposition of carbonate rocks. Minerals regulating the hydrochemical equilibrium in acidulous waters in the area of Polanica Zdrój are principally calcite, dolomite, quartz, in the area of Dusznik Zdrój albite and calcite, in the area of Kudowa Zdrój calcite and dolomite.

Key words: acidulous waters, equilibrium hydrogeochemical, rock-water interaction, geochemical modelling

Szczawy (wody zawierające co najmniej 1 g/dm³ CO₂) są eksploatowane w wielu uzdrowiskach sudeckich jako surowiec leczniczy lub do butelkowania. Ziemia Kłodzka, region położony w południowo-zachodniej części kraju, jest pod tym względem szczególnie uprzywilejowany. Koncentrują się tu najliczniej wypływy szczaw, ujawniające od wieków swą obecność.

Celem poniższych rozważań jest przedstawienie wstępnej oceny stanu równowagi chemicznej, które ma zasadnicze znaczenie we wnioskowaniu hydrogeochemicznym. Ośrodek hydrogeologiczny może być traktowany jak reaktor chemiczny, w którym zachodzą reakcje wymiany masy między wodą i skałą. Procesy te dążą do uzyskania stanu równowagi między wodą i skałą. W naturalnych warunkach, ciągle trwający proces przepływu powoduje, że roztwór wodny zmienia swój skład, dostosowując się do zmian środowiska geologicznego i warunków fizykochemicznych.

W Polsce badania równowag hydrogeochemicznych wód podziemnych są podejmowane dopiero od niedawna. Należy tu podkreślić, iż problematyka związana z tym zagadnieniem nie była dotychczas podejmowana w skali regionalnej, a niniejsza praca będzie pierwszą w literaturze próbą omówienia tego problemu w odniesieniu do szczaw Sudetów. Poglądy na temat interakcji woda-skała w odniesieniu do niektórych wód mineralnych tego rejonu i ich znaczeniu dla geotermometrii chemicznej, odnaleźć możemy w pracy Leśniaka i Nowak (1993).

Szczawy Ziemi Kłodzkiej mają bogatą literaturę monograficzną. Przede wszystkim wymienić należy opracowania, Tisseyre (1954, 1966) i Fistka (1977, 1983, 1986, 1989). Charakterystyką hydrogeologiczną i hydrogeochemiczną zajmowali się również Dowgiałło (1969, 1986, 1987), Fistek i Gierwielanec (1983), Gierwielanec (1999), Ciężkowski (1990, 2000), Kowalski (1983, 1992).

Przedmiotem pracy jest interpretacja wstępnych wyników badań dotyczących stanu równowagi chemicznej woda-skała szczaw Ziemi Kłodzkiej. Przeprowadzone zostały modelowanie geochemiczne przy użyciu programu komputerowego WATEQ4F (U.S. Geological Survey;

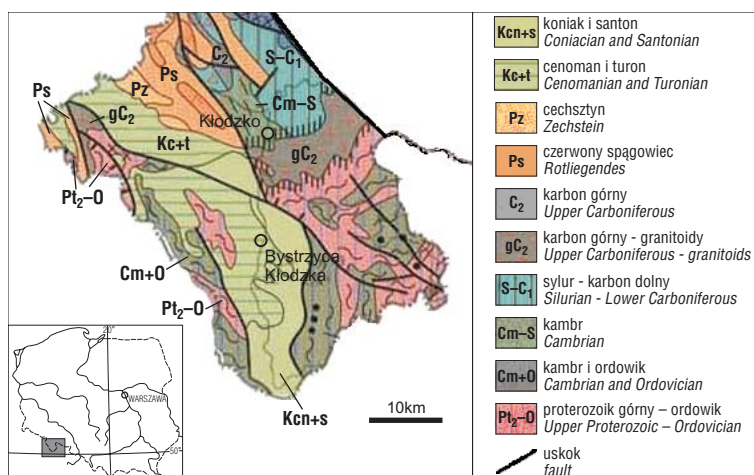
Ball, Nordstrom, 1991), który stanowi aktualnie jedno z podstawowych narzędzi obróbki danych hydrogeochemicznych.

Materiał podstawowy badań stanowiły archiwalne analizy chemiczne, pochodzące z ujęć eksploatowanych w Kudowie Zdroju, Jeleniowie, Dusznikach Zdroju, Polanicy Zdroju, Długopolu Zdrój, Gorzanowie oraz ujęć nieeksploatowanych znajdujących się w Bobrownikach Starych, Nowej Łomnicy, Szczawinie, Nowej Bystrzycy, Szalejowie Górnym, Starym Wielisławiu. Z czterech pierwszych wymienionych miejscowości, analizy pochodzą z Uzdrowskiego Zakładu Górniczego, pozostałe zaś z pracy Fistka (1977).

Zarys warunków geologicznych

W zachodniej części Ziemi Kłodzkiej można wyróżnić trzy zasadnicze struktury geologiczne: metamorfik Gór Bystrzyckich i Orlickich, masyw granitoidowy Kudowy oraz skały osadowe niecki śródsudeckiej (ryc. 1).

Do najstarszych utworów budujących Ziemię Kłodzką należy kompleks skał metamorficznych Gór Bystrzyckich i Orlickich. Wiek całego kompleksu przyjmuje się jako prekambryjski lub staropaleozoiczny (Gierwielanec, 1965). Są to bardzo zróżnicowane facjalnie i petrograficznie łupki



Ryc. 1. Mapa geologiczna Ziemi Kłodzkiej bez utworów kenozoiku (na podstawie Dadlez i in., 2000)

Fig. 1. Geological map of the Kłodzko region without Cainozoic deposits (after Dadlez et al., 2000)

*Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wroclawska, pl. Teatralny 2, 50-051 Wrocław; beawikt@wp.pl

łyszczkowe, kwarcytowe, biotytowe, chlorytowe oraz gnejsy z soczewkami kwarcu, wapieni krystalicznych, łupków grafitowych, amfibolowych oraz dolomitów. W obrębie krystaliniku spotyka się także skały żyłowe, przypuszczalnie wieku górnokarbońskiego, reprezentowane przez lamprofiry i porfiry kwarcowe. Wystąpieniem tych skał towarzyszą powszechnie brekcje kwarcowo-hematytowe, wypełniające strefy pęknięć (Dumicz, 1964). Na północny-wschód i na wschód od Kudowy znajduje się masyw granitoidowy Kudowy natomiast na południu masyw granitoidowy Novego Hradka. Wyróżnia się tu granity monzonitowe, granodioryty, tonality. Najpowszechniej na terenie badań występują skały osadowe niecki śródsudeckiej, wypełniające centralną część badanego terenu, synklinę Kudowy i rów Górnej Nysy Kłodzkiej (Radwański, 1959, 1965; Jerzykiewicz, 1975). Dominują tu piaskowce i mułowce ilasto-wapniste (margle). Podstawowy skład mineralny skał podłoża z poszczególnych jednostek geologiczno-strukturalnych przedstawiono w tabeli 1. Osady najmłodsze, czwartorzędowe, występują w korytach rzek i potoków. Są to: gliny, rumosze zboczowe, aluwia, żwiry i utwory torfowe.

Tab. 1. Skład mineralny skał podłoża zachodniej części Ziemi Kłodzkiej (na podstawie Ryka & Rygiel; 1980)

Table 1. Mineral composition of bedrocks in western part of the Kłodzko region (on the base Ryka & Rygiel; 1980)

Mineral <i>Mineral</i>	Jednostka geologiczna <i>Geological unit</i>		
	mwgKr	mtGByGO	sn(śr)S
Kwarc <i>quartz</i>	•••	•••	•••
Plagioklasy <i>plagioclases</i>	•••	•••	•••
Łyszczki <i>micas</i>	••	••	••
Pirokseny <i>pyroxene</i>	••	••	
Kalcyt <i>calcite</i>	•	•	••
Dolomit <i>dolomite</i>	•	•	••
Chloryty <i>chlorites</i>	•	••	••
Hematyt <i>hematite</i>	•	•	
Magnetyt <i>magnetite</i>	•	•	
Glaukonit <i>glauconite</i>			•
Apatyt <i>apatite</i>	•	•	•

mwgkr — masyw granitoidowy Kudowy, *granitoid block of Kudowa*, mtGByGO — metamorfik Gór Bystrzyckich i Orlickich, *metamorphic of Bystrzyckie and Orlickie Mts.*, sn(śr)S — niecka śródsudecka, *Intra-Sudetica Synclinorium*
minerały, *minerals*: ••• — główne, *main*, •• — poboczne, *secondary*, • — akcesoryczne, *accessory*

Charakterystyka fizykochemiczna szczaw

Na obszarze Ziemi Kłodzkiej występuje szczególny typ wód podziemnych — szczawy, które wypływają samoczynnie lub są ujęte za pomocą odwiertów. Rozpatrując skład chemiczny wód należy podkreślić, że chemizm z poszczególnych ujęć wskazuje na pewne zróżnicowanie, natomiast główny typ wody pozostaje taki sam w obrębie tej samej jednostki litologiczno-stratygraficznej. Za główny czynnik mineralizujący uznaje się obecność wolnego dwutlenku węgla, doprowadzanego z głębi Ziemi (Dowgiało, 1978), który zwiększa zdolności rozpuszczające wód.

Opierając się na charakterystyce fizykochemicznej (Ciężkowski, 1990), wśród szczaw Ziemi Kłodzkiej można wydzielić trzy zasadnicze rejony o podobnym charakterze hydrogeochemicznym wód. Pierwszy rejon, reprezentujący główny typ $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$, obejmuje wypływy w skałach metamorfiku Gór Bystrzyckich i Orlickich. Szczawy tworzą się tu w obrębie gnejsów i łupków łyszczkowych, co zaznacza się przewagą jonu magnezowego nad sodowym. Wody te cechują się mineralizacją od 0,5 do 2,7 g/dm^3 oraz dużą zawartością dwutlenku węgla i jonu żelazowego. W ujęciach duszniczkach dodatkowo zwraca uwagę podwyższona temperatura wód (*Pieniawa Chopina* — 19,2°C). Drugi wyróżniony rejon stanowią wypływy szczaw związane z szczelinowatymi osadami górnej kredy — piaskowcami środkowo-turońskimi, charakteryzujące się głównym typem $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$. Mineralizacja tych wód kształtuje się od 0,4 do 2,4 g/dm^3 , temperatura 6–14,4°C. Trzeci rejon, to grupa szczaw związana z utworami synkliny Kudowy, reprezentująca główny typ $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$. Wody te charakteryzują się mineralizacją od 1,3 do 6,0 g/dm^3 i temperaturą 8–12,5°C. Ogólną charakterystykę fizykochemiczną szczaw przedstawiono w tabeli 2.

Modelowanie geochemiczne

Za pomocą programu WATEQ4F (Ball & Nordstrom; 1991) i na podstawie danych o temperaturze, pH, Eh i wynikach analiz wód, dokonano oceny związków między chemicznym składem szczaw i mineralną zawartością skał wodonośnych. Stan równowagi został oceniony ilościowo przez wskaźnik stanu nasycenia SI (*Saturation Index*) w stosunku do szeregu możliwych reakcji, jakie mogą zachodzić z typowymi minerałami. Jest to ocena statystyczna precyzująca jaki będzie stan równowagi roztworu wodnego z każdym minerałem oddzielnie. Następuje ona przez porównanie ze sobą iloczynu (AP) rzeczywistych stężeń składników wody mogących wchodzić z danym minerałem w reakcję rozpuszczania/strącania, ze stałą równowag

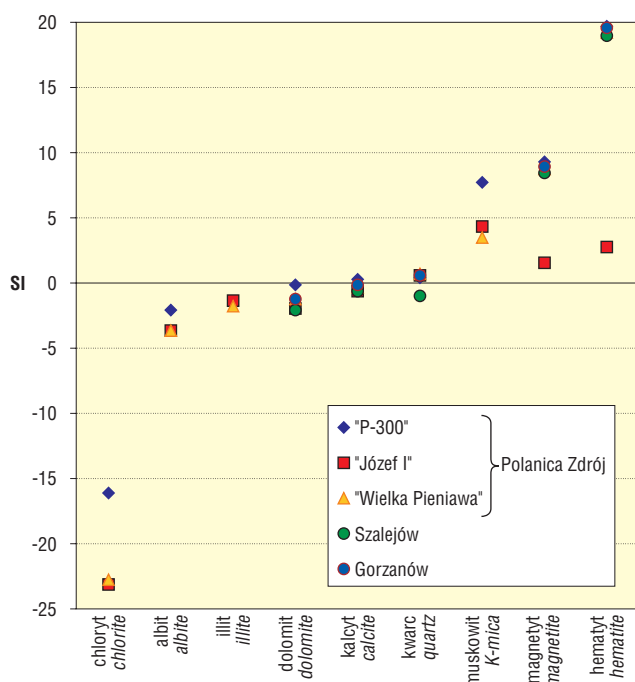
Tab. 2. Ogólna charakterystyka szczaw Kotliny Kłodzkiej (wg Ciężkowskiego, 1990; uzupełnienia własne)

Table 2. Characteristics of acidulous springs in the Kłodzko region (after Ciężkowski, 1990; supplements own)

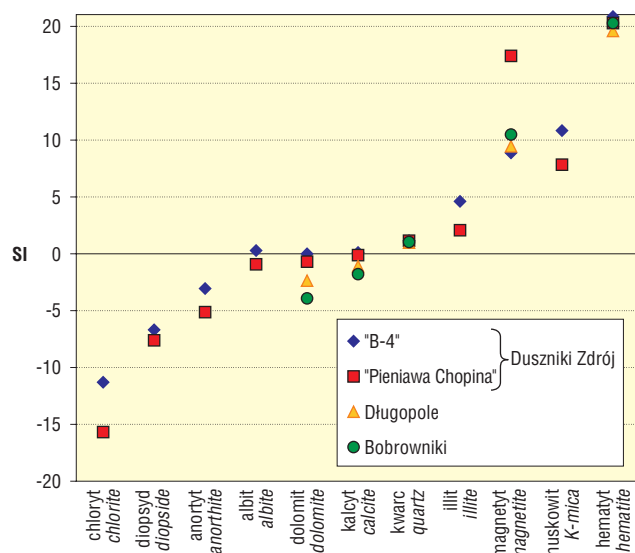
Region <i>Region</i>	Litologia i wiek skał strefy wypływu <i>Lithostratigraphy and age of rocks of zone outflow</i>	Mineralizacja <i>Mineralisation</i> [g/dm^3]	CO_2	Typ wody <i>Type of water</i>	Temperatura <i>Temperature</i> [°C]	pH
Polanica Zdrój	piaskowce i margle gr. kredy <i>Upper Cretaceous sandstones and marls</i>	0,4–2,7	300–2750	$\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$	7,8–16	5,75–7,66
Duszniki Zdrój	łupki łyszczkowe i paragnejsy prekambry <i>Precambrian micaceous schists and paragneisses</i>	0,2–2,7	800–2800	$\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$	5,5–19,2	5,70–6,60
Kudowa Zdrój	piaskowce i margle gr. kredy <i>Upper Cretaceous sandstones and marls</i>	1,1–6,0	1500–2780	$\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$	8–15,5	5,90–6,88

reakcji (KT). Miarą stanu nasycenia jest logarytm tych stosunków: $SI = \lg IAP/KT$.

Przyjęto, że stanowi bliskiemu równowagi odpowiadają wartości wskaźnika SI w przedziale od -0,5 do +0,5

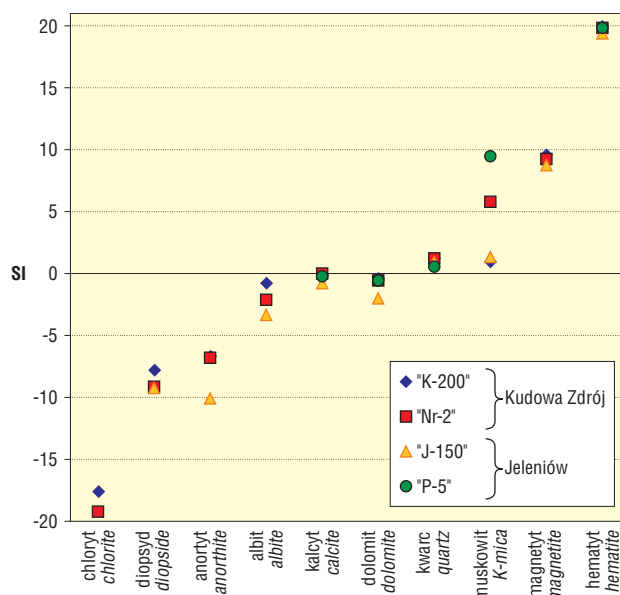


Ryc. 2. Wskaźniki stanu nasycenia (SI) dla wybranych ujęć szczaw rejonu Polanicy Zdroju względem typowych minerałów
Fig. 2. Saturation index (SI) of selected acidulous waters in Polanica Zdrój region with respect to typical minerals

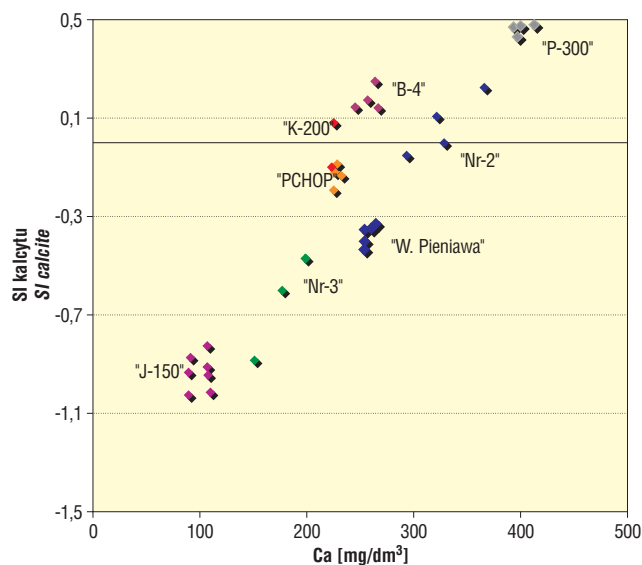


Ryc. 3. Wskaźniki stanu nasycenia (SI) dla wybranych ujęć szczaw rejonu Dusznik Zdroju względem typowych minerałów
Fig. 3. Saturation index (SI) of selected acidulous waters in Duszniki Zdrój region with respect to typical minerals

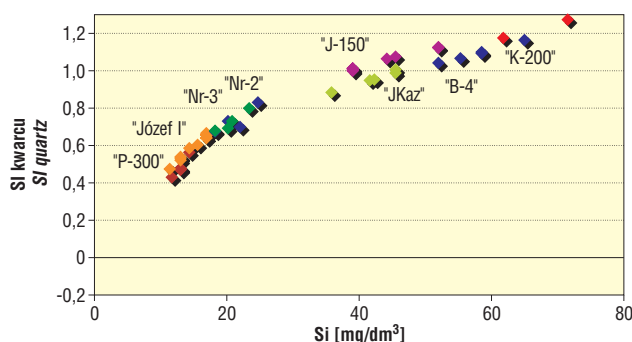
Ryc. 6. Zależność wskaźnika stanu nasycenia (SI) kwarcu od koncentracji krzemionki w wybranych szczawach Ziemi Kłodzkiej
Fig. 6. Relationship between saturation index for quartz and silicic acid concentration (selected acidulous waters in the Kłodzko region)



Ryc. 4. Wskaźniki stanu nasycenia (SI) dla wybranych ujęć szczaw rejonu Kudowy Zdroju względem typowych minerałów
Fig. 4. Saturation index (SI) of selected acidulous waters in Kudowa Zdrój region with respect to typical minerals



Ryc. 5. Zależność wskaźnika stanu nasycenia (SI) kalcytu od koncentracji wapnia w wybranych szczawach Ziemi Kłodzkiej
Fig. 5. Relationship between saturation index for calcite and calcium concentration (selected acidulous waters in the Kłodzko region)



(Pačes, 1972, 1973). Uznano, że wartości SI $>+0,5$ odpowiadają stanowi przesylenia roztworu daną fazą mineralną, a stanowi niedosycenia wartości SI $<-0,5$. Interpretację stanu nasycenia ograniczono do najważniejszych minerałów skałotwórczych, występujących w badanej strukturze. Należy tu również zaznaczyć, że wstępną ocenę równowagi hydrogeochemicznej dokonano na wypływie szczaw na powierzchnię terenu.

Obliczenia komputerowe dostarczyły wartości wskaźników nasycenia SI dla szeregu faz mineralnych (tab. 3). Stwierdzono, że minerałami decydującymi o stanie równowagi hydrogeochemicznej szczaw ujętych w dolnych ogniwach serii osadowej górnej kredy niecki śródsudeckiej są kalcyt, dolomit i kwarc, dla których wartości wskaźnika SI są bliskie stanowi nasycenia, mieszcząc się w granicach od $-0,56$ do $0,54$ (ryc. 2). Najwyższą wartość mineralizacji w obrębie omawianego rejonu obserwuje się dla ujęcia *P-300* w Polanicy, która wynosi $2616,67 \text{ mg/dm}^3$.

Największy wpływ na stan równowagi hydrogeochemicznej szczaw ujmowanych w utworach metamorfiku Gór Bystrzyckich i Orlickich mają albit i kalcyt. Wartości wskaźników SI dla tych faz mineralnych występują w przedziale od $-0,2$ do $+0,25$ (ryc. 3). Skały budujące tu podłoże, charakteryzują się wyższą odpornością na rozpuszczanie, niż w pozostałych jednostkach geologicznych omawianego rejonu. Najwyższą mineralizację wód obserwuje się w ujęciu *Agata* (Duszni Zdrój), gdzie zanotowano wartość 2792 mg/dm^3 .

Stan równowagi hydrogeochemicznej szczaw, wpływających w obrębie synkliny Kudowy wynika z obecności kalcytu i dolomitu, dla których zakres wartości wskaźników SI wynosi od $-0,47$ do $-0,06$ (ryc. 4). Zasadniczy proces formowania się tych wód zachodzi w obrębie krystalicznego podłoża — granitoidach i fyllicach (Fistek & Gierwielanec, 1983). Obserwuje się tam najwyższe wartości mineralizacji wśród wszystkich szczaw Ziemi Kłodzkiej (dla ujęcia *Nr-2* w Kudowie Zdrój, zanotowano $3573,54 \text{ mg/dm}^3$).

Analiza wyników obliczeń wskaźników nasycenia SI wskazała przypuszczalne mineralne fazy źródłowe, wpływające na

formowanie się składu chemicznego szczaw Ziemi Kłodzkiej. Spośród głównych składników kształtujących chemizm omawianych wód, największą zawartością charakteryzują się jony wodorowęglanowe (do 75% miliwali). Można zauważyć, że obliczone wartości wskaźników nasycenia wód z kalcytem i dolomitom dla wszystkich omawianych rejonów, odpowiadają stanowi bliskiemu równowadze. Przypuszcza się, że jony te mogą powstawać w wyniku ługowania węglanowego spoiwa skał osadowych górnej kredy, występującej we wszystkich jednostkach geologicznych badanego terenu. Ponadto można przyjąć hipotezę powstania jonów wodorowęglanowych w wyniku reakcji dwutlenku węgla z wapieniami krystalicznymi, występującymi w rejonie Duszni Zdroju w postaci soczewek w utworach wieku prekambryjskiego (Dowgiało, 1978). Obliczone wartości wskaźników nasycenia wód dla kalcytu wynoszą od $-1,78$ do $0,23$; dolomitu od $-3,89$ do $-0,15$.

Wśród kationów najbardziej rozpowszechnionymi składnikami analizowanych szczaw są wapń i magnez. Ich zawartość w wodach jest regulowana obecnością kalcytu i dolomitu. Pomimo zróżnicowania stopnia zmineralizowania szczaw, można tu zaobserwować pewną zależność pokazującą, iż wraz ze wzrostem koncentracji jonów wapnia w wodach, wzrasta wartość obliczonego współczynnika nasycenia SI wód z kalcytem. Jednocześnie zauważa się, że parametr ten dąży do osiągnięcia stanu równowagi, co przedstawiono na ryc. 5. Z przeprowadzonych obliczeń sądzić zatem można o podstawowym znaczeniu wpływu procesu rozpuszczania minerałów węglanowych na kształtowanie się równowagi hydrogeochemicznej omawianych wód.

Do wzbogacania szczaw Ziemi Kłodzkiej w jony sodu i potasu przyczynia się przypuszczalnie rozkład i ługowanie plagioklazów i minerałów łuszczykowych. Wartości obliczonego wskaźnika nasycenia SI z albitem dla jednostki metamorfiku Gór Bystrzyckich i Orlickich, wykazują stan bliski równowadze. Skały krystaliczne budujące rejon Kudowy Zdroju i Polanicy Zdroju, zawierające minerały sodu i potasu, występują na znacznej głębokości i w dużym oddaleniu od powierzchni wypływów szczaw, stąd też możemy postawić tezę o głębokim pochodzeniu tych jonów w szczawach. Obli-

Tab. 3. Wskaźniki SI dla wybranych ujęć szczaw Ziemi Kłodzkiej z typowymi minerałami

Table 3. Saturation index (SI) of selected acidulous waters in the Kłodzko region with respect to typical minerals

Minerały Minerals	Typ (type) HCO ₃ -Ca-Na					Typ (type) HCO ₃ -Ca-Mg				Typ (type) HCO ₃ -Na-Ca		
	Polanica Zdrój P-300	Polanica Zdrój Wielka Pieniawa	Stary Więśław Dolny	Szalejów Górny	Gorzanów P-5	Duszni Zdrój B-4	Duszni Zdrój Pieniawa Chopina	Długopole Zdrój Renata	Bobro- wniki Stare	Kudowa Zdrój Nr-2	Kudowa Zdrój K-200	Jeleniów J-150
Chloryt <i>Chlorites</i>	-16,05	-22,86	-	-	-	-11,31	-15,71	-	-	-19,25	-17,53	-23,26
Anortyt <i>Anorthite</i>	-5,08	8,33	-	-	-	-3,015	-5,16	-	-	-6,86	-6,74	-10,1
Albit <i>Albite</i>	-2,08	3,66	-	-	-	0,25	-1,02	-	-	-2,17	-0,77	-3,34
Kalcyt <i>Calcite</i>	0,23	-0,29	-0,35	-0,56	-0,16	-0,2	-0,16	-1,04	-1,78	-0,001	-0,06	-0,83
Dolomit <i>Dolomite</i>	-0,15	-1,24	-1,68	-2,09	-1,24	-0,75	-0,64	-2,29	-3,89	-0,47	-0,34	-1,94
Kwarc <i>Quartz</i>	0,48	0,67	0,54	-1,03	0,5	0,73	1,08	1,05	0,99	1,27	1,19	1,004
Muskowit <i>k-mica</i>	0,87	3,56	-	-	-1,07	2,87	7,86	4,06	4,41	5,8	0,91	1,36
Magnetyt <i>Magnetite</i>	9,27	8,69	8,34	8,48	8,87	8,94	17,45	9,47	10,41	9,31	9,6	8,78
Hematyt <i>Hematite</i>	19,69	19,27	18,97	19,03	19,51	19,44	20,25	19,65	20,33	19,74	19,97	19,35
Mineralizacja mg/dm ³ Mineralisation mg/dm ³	2616,67	1720,04	2372,9	1839,5	928,5	2539,45	2110,91	1450,5	490	3573,54	3533,49	1371,71

czony wartości wskaźników nasycenia wód dla albitu wynoszą od -3,66 do +0,25.

Krzem został oznaczony w wodach jako SiO₂. Obliczenia wskaźników nasycenia dla związków krzemu sugerują, że źródłem tego pierwiastka w szczawach Ziemi Kłodzkiej jest rozpuszczanie kwarcu. Występujące w skałach inne minerały krzemianowe (np. chloryt, diopsyd) wykazują stan niedosycenia. Istnieje zatem tendencja do rozpuszczania tych faz. Zależność wskaźnika nasycenia kwarcu od koncentracji krzemionki w wodzie szczaw przedstawiono na ryc. 6. Należy tu zwrócić uwagę, że wraz ze wzrostem stężenia tego jonu w wodach, następuje wzrost analizowanego wskaźnika, którego wartości dążą do stanu przesyceń wód przez daną fazę mineralną. Obliczone wskaźniki nasycenia SI wód dla kwarcu wynoszą od -1,03 do +1,27; chlorytu od -11,31 do -22,86; anortytu od -10,1 do -3,015.

W odniesieniu do faz mineralnych zawierających związki żelaza i manganu wszystkie badane szczawy Ziemi Kłodzkiej są silnie przesycone i hipotetycznie mogą ulegać procesowi strącania (przy zachowaniu odpowiednich warunków fizykochemicznych). Stwierdzono, że obliczone wartości wskaźników nasycenia SI dla danych wód z hematytem mieszczą się w granicach od +19,03 do +20,33; a z magnetytem w przedziale od +8,34 do +17,45. Ich podwyższone zawartości są związane z siarczkową mineralizacją kruszcową żył polimetalicznych typu hydrotermalnego występujących w obrębie masywów granitoidowych Kudowy i Nowego Hradka oraz skałach metamorficznych Gór Bystrzyckich i Orlickich (Fistek & Gierwielaniec, 1983).

Wnioski końcowe

Z przedstawionego materiału wynika, że szczawy występujące na obszarze Ziemi Kłodzkiej charakteryzują się na ogół niezbyt wysoką mineralizacją. Zróżnicowany skład chemiczny wód jest uzależniony przede wszystkim od składu mineralnego utworów wodonośnych. Istotnym czynnikiem warunkującym powstanie wód o zdecydowanym charakterze wodorowęglanowym jest obecność dwutlenku węgla.

Na podstawie analizy wskaźników nasycenia SI ustalono, że główne znaczenie w formowaniu podstawowego składu chemicznego szczaw Ziemi Kłodzkiej mają procesy rozkładu węglanowego spoiwa skał osadowych oraz ługowania wapni krystalicznych, które są źródłem występowania w wodach jonów wodorowęglanowych, wapnia i magnezu. Należy również zwrócić uwagę, że przedstawione wyniki badań pozwalają zasygnalizować tezę o głębokim pochodzeniu jonów sodu i potasu w omawianych wodach.

Ważną sprawą jest wyjaśnienie genezy mikroskładników szczaw, co będzie przedmiotem szczegółowszych badań, które bardziej sprecyzują mechanizm tworzenia się i ewolucji składu chemicznego szczaw Ziemi Kłodzkiej.

Autorka pragnie podziękować za udostępnianie archiwalnych analiz chemicznych wód Polanicy Zdroju, Dusznik Zdroju i Kudowy Zdroju, Uzdrowskiemu Zakładowi Górniczemu Zespołu Uzdrowisk Kłodzkich S.A.

Literatura

- BALL J.W. & NORDSTROM D.K. 1991 — WATEQ4F — User's manual with revised thermodynamic database and test cases for calculating speciation of major, trace and redox elements in natural waters. U.S. Geol. Surv. Open — File Rep.
- CIĘŻKOWSKI W. 1990 — Studium hydrogeochemii wód leczniczych Sudetów polskich. Pr. Nauk. Inst. Geotechn. Politech. Wrocław, 60, Ser. Monografie.
- CIĘŻKOWSKI W. 2000 — Wody lecznicze Ziemi Kłodzkiej. [W:] Zdroje Ziemi Kłodzkiej. Wyd. UWrocław. i Muz. Ziemi Kłodzkiej, Wrocław-Kłodzko.
- DADLEZ R., MAREK S. & POKORSKI J. (red.) 2000 — Mapa geologiczna Polski bez utworów kenozoiku 1 : 1 000 000. Państw. Inst. Geol.
- DOWGIAŁŁO J. 1969 — Hydrogeologia wód leczniczych. [W:] Geologia surowców balneologicznych. Wyd. Geol.: 9–142.
- DOWGIAŁŁO J. 1978 — Pochodzenie dwutlenku węgla w szczawach Karpat i Sudetów na obszarze Polski. Biul. Państw. Inst. Geol., 312: 191–213.
- DOWGIAŁŁO J. 1986 — Zagadnienie wód „kryptotermalnych” w regionie sudeckim. Pr. Nauk. Inst. Geotechn. Politech. Wrocław, 49: 47–51.
- DOWGIAŁŁO J. 1987 — Problematyka hydrogeotermiczna regionu sudeckiego. Prz. Geol., 35: 321–327.
- DUMICZ M. 1964 — Budowa krystaliniku Gór Bystrzyckich. Geol. Sud., 1: 5–72.
- FISTEK J. 1977 — Szczawy Kotliny Kłodzkiej i Gór Bystrzyckich. Biul. Geol. UW, 22: 61–115.
- FISTEK J. 1983 — Aktualny stan rozpoznania wód leczniczych Sudetów. [W:] Współczesne problemy hydrogeologii regionalnej, II Symp. Łądek Zdrój, Wyd. UWrocław., Wrocław.
- FISTEK J. 1986 — Stan rozpoznania zasobów wód leczniczych uzdrowisk dolnośląskich. Sesja nauk. Geologia uzdrowska wczoraj — dzisiaj — jutro, 480, Warszawa: 23–40.
- FISTEK J. 1989 — Rola uskoku Pstrążna–Gorzanów w kształtowaniu warunków hydrogeologicznych SW obrzeżenia Synklinorium Śródsudeckiego. [W:] Pr. Nauk. Inst. Geotechn. Politech. Wrocław, 58: 361–368.
- FISTEK J. & GIERWIELANIEC J. 1983 — Problematyka hydrogeologiczna zapadliska Kudowy. II Ogólnopolskie Symp.: Współczesne problemy hydrogeologii regionalnej, Łądek Zdrój, 13–16.10.1982. Wyd. UWrocław., Wrocław.
- GIERWIELANIEC J. 1999 — Rozpoznanie hydrogeologiczne polskiej części Gór Bystrzyckich i Orlickich. Raport Politech. Wrocław, Ser. SPR nr 19/99, Wrocław.
- GIERWIELANIEC J. 1965 — Budowa geologiczna okolic Kudowy Zdroju. Biul. Inst. Geol., 185: 23–90.
- JERZYKIEWICZ T. 1975 — Pozycja geologiczna osadów górnokredowych depresji śródsudeckiej i rowu Nysy Kłodzkiej. Przew. 47 Zj. Pol. Tow. Geol., Warszawa.
- KOWALSKI S. 1983 — Wody podziemne w skałach górnokredowych Gór Stołowych. Wyd. Geol.
- KOWALSKI S. 1992 — Czynniki naturalne warunkujące występowanie wód podziemnych w regionie sudeckim. Pr. Geol.-Miner., 25, UWrocław., Wrocław.
- LEŚNIAK P.M. & NOWAK D. 1993 — Water-rock interaction in some mineral waters in the Sudetes, Poland: Implications for chemical geothermometry. Ann. Soc. Geolog. Pol., 63: 101–118.
- PAČES T. 1972 — Chemical characteristics and equilibration in natural water–felsic rock–CO₂ system. Geochim. Cosmochim. Acta, 36 : 217–240.
- PAČES T. 1973 — Steady–state kinetics and equilibrium between ground water and granitic rock. Geochim. Cosmochim. Acta, 37: 167–182.
- RADWAŃSKI S. 1959 — Budowa geologiczna obniżenia dusznickiego i wschodniej części Gór Stołowych. Biul. Inst. Geol., 146: 5–56.
- RADWAŃSKI S. 1965 — Budowa geologiczna rowu górnej Nysy w okolicach Bystrzycy Kłodzkiej i Długopola Dolnego. Biul. Inst. Geol., 185: 6–65.
- RYKA W. & RYGIEL W. 1980 — Zbiór analiz fizykochemicznych skał. Biul. Państw. Inst. Geol.,
- TEISSEYRE J. 1954 — Geologia sudeckich wód mineralnych. Zj. Nauk. Tech. w Krynicy, 1954; Mat. Pozjaz. Stalinogród: 74–96.
- TEISSEYRE J. 1966 — Źródła mineralne Dolnego Śląska w świetle badań geologicznych (1945–1965). [W:] Z geologii Ziemi Zachodnich, Sesja Nauk. Dwudziestolecia Polskich Badań 1945–1965, Wrocław: 485–505.